

## ОЦЕНКА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ СТЕПНОЙ ЧАСТИ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

А.Г. Косицкий, Е.М. Богуцкая, Е.Ф. Ильяшенко

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва

e-mail: alexhydro@mail.ru

Оценка собственных возобновляемых водных ресурсов степной части Крымского полуострова является непростой задачей в связи с отсутствием гидрологических наблюдений в данной части Крыма. Поэтому для их оценки использован косвенный метод, основанный на зависимости средних многолетних расходов воды от порядков рек. С ее помощью оценены средние многолетние расходы воды степных рек Крыма, деление которых на площади водосборов данных рек дало модули стока. Среднее значение модуля стока для степных рек Крыма получилось равным  $0,4 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ , что близко к более ранним оценкам. Умножение его на общую площадь степной части Крыма дало суммарный расход воды и годовой объем стока, равный примерно  $250 \text{ млн м}^3$ , что и следует считать собственными возобновляемыми водными ресурсами степной части Крымского полуострова.

*Ключевые слова:* Крымский полуостров, степь, водные ресурсы, порядок реки.

### Введение

Общеизвестно, что Крым – один из наиболее воднодефицитных регионов России. Общая его площадь составляет около  $27 \text{ тыс. км}^2$ . С физико-географической точки зрения Полуостров делится на горную и равнинную части. Крымские горы занимают примерно 20 % территории. На долю равнин приходится почти 80 % площади Полуострова, из которых большую часть представляют собой степи. Именно Крымские горы являются основным источником формирования немногочисленных собственных водных ресурсов Крыма. Что касается равнинной, степной части Крыма, то осадков там выпадает несоизмеримо меньше, по сравнению с горной частью, а испарение напротив больше, поэтому коэффициент и слой стока здесь стремится к нулю и формирования собственных возобновляемых водных ресурсов почти не происходит.

Большинство рек, протекающих через степную часть Крыма, являются транзитными, формирующими свой сток в горах и пронося его через равнину в сторону Черного или Азовского моря. Именно таковой является главная водная артерия Крыма – р. Салгир с притоками. Она формируется слиянием рек Ангара и Кизил-Коба в районе с. Перевального на северном склоне Крымских гор, затем выходит на равнину, протекает через административный центр Республики Крым г. Симферополь и далее на протяжении 180 км течет через степи, впадая в залив Сиваш Азовского моря. На протяженном степном участке водоносность реки практически не увеличивается. Так за период наблюдений до 2010 г. средний многолетний расход воды р. Салгир в с. Пионерское, расположенном непосредственно в районе выхода реки на равнину, где площадь водосбора реки  $261 \text{ км}^2$ , составил  $1,15 \text{ м}^3/\text{с}$ . А в с. Лиственное, расположенном в 36 км от устья реки, где площадь водосбора  $3540 \text{ км}^2$ , среднее значение расхода воды за тот же период составило  $1,74 \text{ м}^3/\text{с}$ . Таким образом, 13,5-кратное увеличение площади водосбора привело к увеличению расходов воды всего в 1,5 раза. При этом следует подчеркнуть, что на данном участке р. Салгир принимает ряд крупных притоков, которые также формируют свой сток в горах и именно они дают увеличение водоносности главной реки. В настоящее время, после прекращения подачи воды по Северо-Крымскому каналу расходы воды в с. Лиственном стали даже меньше по сравнению с с. Пионерским, что скорее всего связано с активным изъятием воды для хозяйственных нужд.

Другим примером являются реки, стекающие с северо-западных склонов северного макросклона Крымских гор и впадающие в Черное море, такие как Альма, Кача, Бельбек и Черная. Они также формируют свой сток в горах, а затем текут по степным равнинам без увеличения водоносности. Более того, сформированный в горной части сток практически полностью разбирается на хозяйственные нужды. В результате водоносность рек в нижнем течении может даже уменьшаться или вовсе сводиться к нулю. Так, например, самая крупная по площади водосбора река данного района Альма и третья среди всех главных рек Крыма в нижнем течении в летний период представляет собой сухое русло (рис. 1).



Рисунок 1 – Сухое русло р. Альмы в д. Вилино (8 км от устья) (Фото А.Г. Косицкого)

Тем не менее, в Крыму существует много водотоков, водосборы которых полностью расположены в пределах степной части Полуострова. Так, по данным справочника «Гидрологическая изученность» [1], из 99 рек Крыма, непосредственно впадающих в моря (или теряющихся в степи), более половины полностью расположены в пределах равнинной степной части (табл. 1). При этом суммарная протяженность речной сети данных рек примерно в 1,7 раза меньше по сравнению с протяженностью рек, верховья которых расположены в горной части Крыма. А средняя густота речной сети таких рек вдвое меньше по сравнению с реками горной части Полуострова.

Таблица 1 – Гидрографические сведения о реках Крыма

	Горная часть	Равнинная (степная) часть	Всего
Общее количество рек*	44	55	99
Суммарная протяженность речной системы, км	3566	2026	5592
Средняя густота речной сети, км/км <sup>2</sup>	0,41	0,21	0,31

\*Здесь речь идет только о главных реках, то есть непосредственно впадающих в моря, соединяющиеся с морями озера, или теряющихся в степи; в количестве не учтены притоки рек.

## Материалы и методы

Для выявления закономерностей формирования стока использованы многолетние ряды наблюдений на гидрологических постах рек Крыма, включая современные данные [2]. По выбранному единому однородному периоду наблюдений с 1963 по 2021 гг. (за исключением 2011-2013 гг., данные за которые отсутствуют в органах Гидрометслужбы России) оценены значения средних многолетних расходов воды рек. По данным справочника «Гидрологическая изученность» [1] собраны подробные сведения о гидрографической сети Крыма как для водосборов гидрологических постов, так и для неизученной степной части Крыма.

## Результаты и обсуждение

Отметим, что наличие собственной речной сети в пределах степной части Крыма свидетельствует о том, что и здесь присутствует формирование стока, несмотря на то что оно незначительно по сравнению с горной частью Полуострова. К сожалению, количественная оценка возобновляемых водных ресурсов, формирующихся в пределах степной части Крыма, затруднительна, поскольку на данных 55 водотоках и их притоках гидрологические посты отсутствуют, а посты, расположенные в степной части транзитных рек, отражают зачастую значительный вклад антропогенных факторов. В настоящее время на территории Крымского полуострова действует 33 гидрологических поста (рис. 2). Из них лишь 10 можно условно считать отражающими природные условия формирования стока, поскольку выше них в речной сети отсутствуют искусственные водоемы, а также крупные населенные пункты. Кроме того, еще 5 закрытых в настоящее время гидрологических постов также соответствуют данным условиям, но они имеют продолжительные ряды наблюдений, поэтому данные по ним восстановлены и приведены к современному периоду. Остальные 23 гидрологических поста расположены ниже либо водохранилищ, либо населенных пунктов, где может иметь место изъятие воды.

Проведенные ранее исследования позволили установить некоторые закономерности формирования стока рек, протекающих в естественных условиях. Так средние многолетние расходы воды обнаруживают связь с порядками рек  $N$ , определяемых методом А. Шайдеггера, как:

$$N = 1 + \log_2 P, \quad (1)$$

где  $P$  – количество водотоков первого порядка в бассейне реки [3]. Связь средних многолетних расходов воды с порядками рек традиционно носит экспоненциальный характер (рис. 3). По данной зависимости изученные реки Крыма объединяются в три группы. Наибольшее число рек относится к первой группе, где средние многолетние расходы воды при  $N = \text{const}$  меньше по сравнению с реками других групп. Наибольшее значение расходов воды характерно для рек третьей группы. Сюда попадают четыре реки, гидрологические посты на которых находятся недалеко от истока вблизи крупных подземных водоисточников. Еще две реки занимают промежуточное положение и условно отнесены ко второй группе.

Очевидно, что при оценке стока степных рек не следует ориентироваться на вторую и третью группу. Однако, даже реки первой группы не могут в полной мере являться аналогами степных водотоков, поскольку они формируют сток преимущественно в пределах горной части Крыма. Для более четкой оценки следует привлечь данные, полученные ранее по другим рекам России (рис. 4).

Условные обозначения:

- ▼ - гидрологические посты, отражающие преимущественно природные условия формирования стока
- ▲ - закрытые гидрологические посты, отражающие природные условия, данные по которым восстановлены и приведены к современному периоду
- ▼ - гидрологические посты на реках, испытывающих антропогенное влияние



Рисунок 2 – Гидрологические посты Крыма [2]

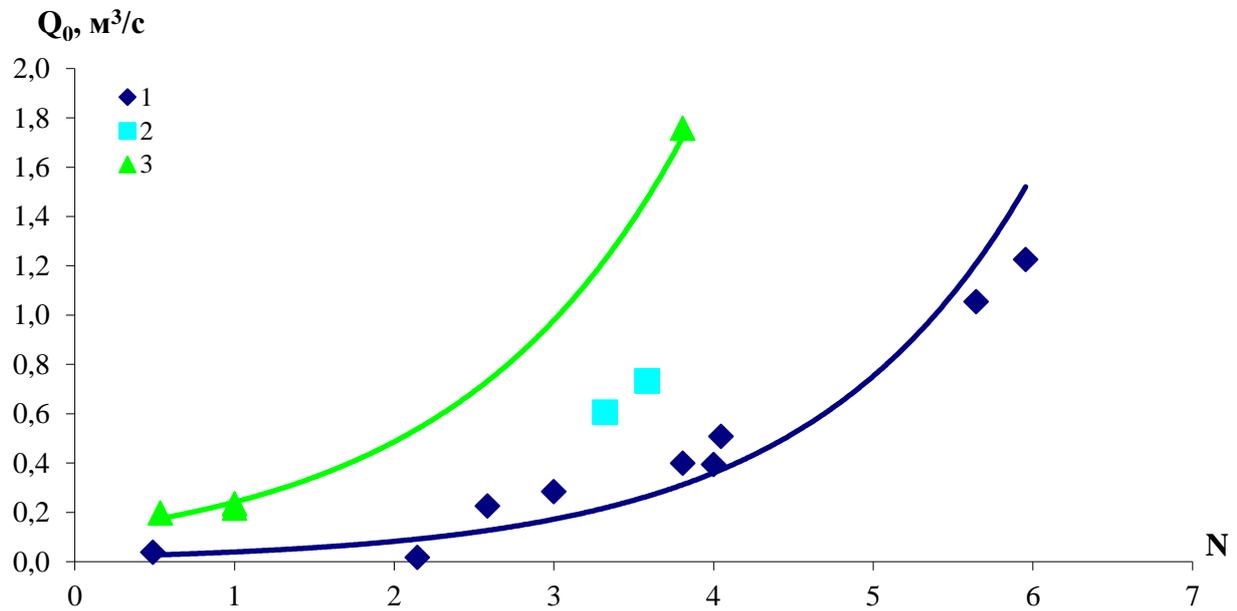


Рисунок 3 – Соотношение средних многолетних расходов воды и порядков рек Крыма [4]

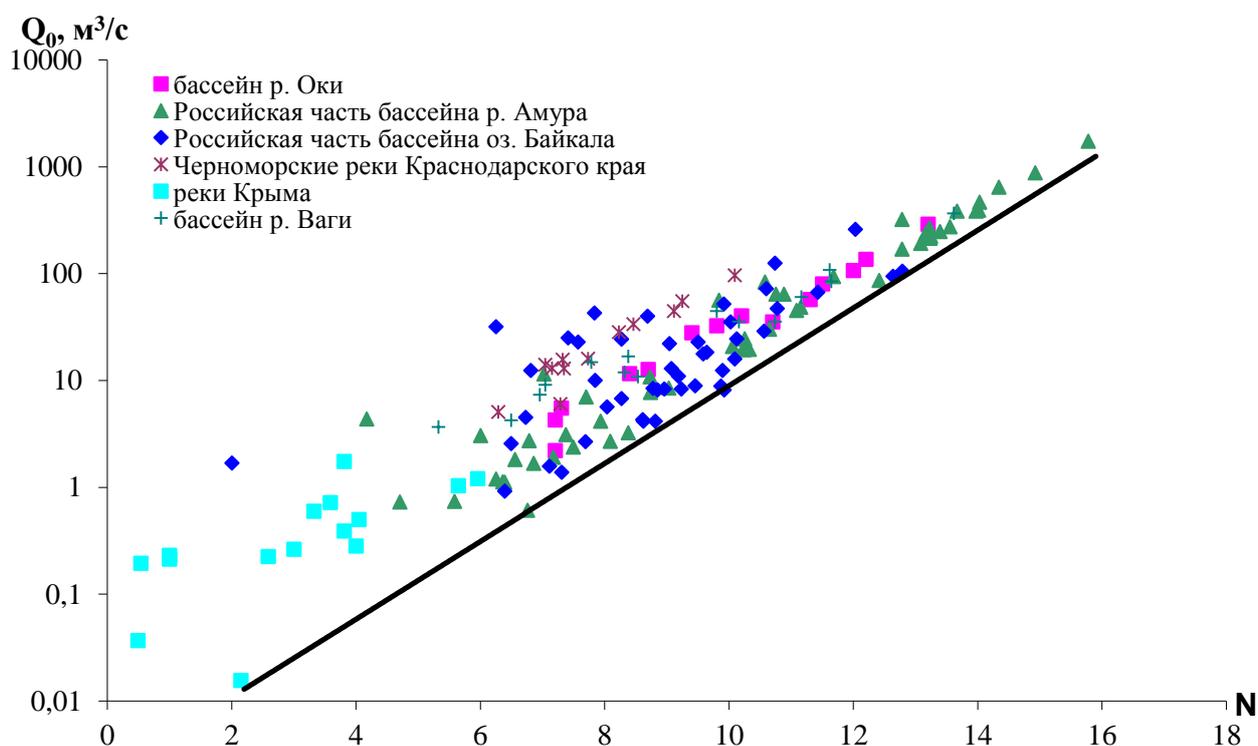


Рисунок 4 – Соотношение средних многолетних расходов воды и порядков разных рек России [4]

Проведенные исследования показали, что соотношение средних многолетних расходов воды  $Q_0$  и порядков рек, расположенных в самых разных природных условиях, имеют общую нижнюю огибающую. Ее наличие связано с тем, что, по сути, не сток реки зависит от ее порядка, а скорее наоборот. Ведь объем годового стока определяется соотношением между составляющими водного баланса (разностью между осадками и испарением) и площадью водосбора. И именно наличие водного стока формирует речную сеть. Процесс ее формирования длится веками и даже тысячелетиями, поэтому величина порядка реки косвенно отражает осредненное за очень долгий период значение водоносности реки. Следует подчеркнуть, что наличие определенного объема годового стока является необходимым, но недостаточным условием для формирования речной сети заданного порядка. Здесь велика роль других факторов, чаще ограничивающих развитие речной сети. Однако, сам факт наличия нижней огибающей все же свидетельствует о наличии необходимого объема стока для формирования реки определенного порядка. Уравнение нижней огибающей описывается уравнением [4]:

$$Q_0 = 0,00204e^{0,84N}. \quad (2)$$

С его помощью определены средние многолетние расходы воды и объемы годового стока рек, полностью протекающие в степной части Крымского полуострова (табл. 2).

Суммарное значение годового объема стока получается равным 118 млн  $m^3$ . Ранее [4] аналогичная оценка была сделана для всех рек Крыма, и суммарный годовой объем стока получился равен 371 млн  $m^3$ . Таким образом, реки степной части Полуострова дают более 30 % от данной величины. Правда, следует подчеркнуть, что расчет сделан по нижней огибающей зависимости расходов от порядков рек, следовательно, реальные значения водоносности рек могут быть значительно выше, о чем свидетельствует более высокое положение точек, соответствующих Крымским рекам, по отношению к нижней огибающей на рисунке 4. Однако, напомним, что данные, представленные на графике, соответствуют все же горной части Крыма. Что касается степных равнинных районов, то маловероятно, что водоносность рек здесь окажется сильно выше требуемой для формирования речной сети заданных

порядков. В связи с чем, скорее всего, полученное значение может быть близко к реальной водоносности степных рек Крыма. В подтверждение этому может служить среднее значение модуля стока, получаемого для данных рек. Поскольку суммарная площадь водосборов рек, представленных в таблице 2, составляет 9460 км<sup>2</sup>, а суммарный средний многолетний расход воды получился равен 3,74 м<sup>3</sup>/с, то среднее значение модуля стока получается равным 0,4 л/(с · км<sup>2</sup>), что очень близко ранее полученным оценкам для степной части Крыма [5].

Таблица 2 – Рассчитанные средние многолетние расходы воды и объемы годового стока степной части Крымского полуострова

Название реки	Куда впадает	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Порядок реки	Средний многолетний расход воды, м <sup>3</sup> /с	Средний годовой объем стока, млн м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6
Чатырлык	Каркинитский залив, Черное море	2250	4,8	0,1157	3,65
Самарчик	Каркинитский залив, Черное море	528	5,0	0,1360	4,29
без названия	теряется в степи у с. Ковыльное	26,6	2,0	0,0109	0,35
без названия	теряется в степи, 1,6 км ю-з п. Горлица	35,8	1,0	0,0047	0,15
б. Романовка	оз. Байкальское	193	3,3	0,0332	1,05
б. Джугенская - Ахтанская	оз.Байкальское у с. Гусевка	241	1,0	0,0047	0,15
б. Джарылгач	оз.Джарылгач у с. Водопойное	184	5,7	0,2450	7,73
без названия	Черное море, у с. Морсоке	6,4	1,0	0,0047	0,15
без названия	Черное море, у с. Окуневка	13	3,0	0,0254	0,80
б. Старый Донузлав	оз.Донузлав	326	6,2	0,3635	11,5
б. Донузлав	оз.Донузлав, 1,8 км ю. с. Камышино	524	3,0	0,0254	0,80
б. Чернушка	оз. Донузлав, 2,5 км с. с. Чернушки	60,5	1,0	0,0047	0,15
б. Ташкинская	оз.Сасык	217	1,0	0,0047	0,15
б. Карьерная	оз. Сасык, 1 км с-в с. Гаршино	442	3,6	0,0414	1,31
б. Темеш	оз. Сасык	97,7	1,0	0,0047	0,15
б. Михайловская	оз. Сакское у с. Михайловка	139	1,0	0,0047	0,15
Тобе-Чокрак	оз. Кизыл-Яр, 1,9 км з. с. Ивановка	318	2,0	0,0109	0,35
без названия	оз. Богайлы, 1,3 км з.с.Приозерное	63,5	1,0	0,0047	0,15
Западный Булганак	Каламитский залив, Черное море	180	4,2	0,0677	2,14
без названия	теряется в степи у с. Ближние камыши	45,7	3,0	0,0254	0,80
без названия	Чёрное море, у с. Береговое	9	1,0	0,0047	0,15
б. Песчаная	Чёрное море	37,6	3,3	0,0332	1,05
без названия	Чёрное море, в 1 км южнее с. Южное	52,1	3,8	0,0500	1,58

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

1	2	3	4	5	6
б. Наиманская	Чёрное море	13,5	3,6	0,0414	1,31
б. Джапар-Берды	оз. Качик, 2,2 км ю. с. Гавриленкого	145	6,0	0,3271	10,3
б. Таш-Алчин	оз. Узунларское, 5,5 км ю-в с. Краснополье	36	4,0	0,0587	1,85
б. Узунлар	оз. Узунларское, 2,5 км ю-в с. Прудниково	61	3,6	0,0414	1,31
б. Шаклар	оз. Узунларское	78	3,8	0,0500	1,58
Чит-Оба	Чёрное море	26,1	3,0	0,0254	0,80
без названия	оз. Тобечинское, 2,2 км ю. с. Огоньки	33	5,2	0,1569	4,95
Ичкин-Джилга	озеро Тобечинское 1,5 км ю-з с. Огоньки	103	6,2	0,3635	11,5
б. Чурбашская	оз. Чурбашское у с. Приозёрное	112	4,8	0,1157	3,65
Мелек-Чесме	Керченский пролив	133	6,0	0,3032	9,56
без названия	Керченский пролив, у г. Керчь	22,4	4,3	0,0770	2,43
без названия	Азовское море, в 5 км с-в с. Красная поляна	10,8	3,6	0,0414	1,31
б. Бабчикская	озеро без названия	27,9	2,0	0,0109	0,35
(б. Каралар)	Азовское море	21,2	3,6	0,0414	1,31
без названия	Азовское море, 4 км с-в с. Золотое	17,6	3,3	0,0332	1,05
без названия	Азовское море, 0,6 км с. с. Ново-Отрадное	165	4,8	0,1157	3,65
без названия	теряется в степи у с. Нижне-Заморское	11,5	1,0	0,0047	0,15
(Зеленый Яр)	Азовское море, 1,5 км с-в с. Песочное	482	2,6	0,0179	0,56
Самарли	оз. Акташское	267	6,0	0,3271	10,3
Семь Колодезей	оз. без названия, 3 км в. с. Заводское	118	4,5	0,0864	2,72
б. Али-Бай	Азовское море у с. Набережное	182	5,2	0,1675	5,28
без названия	Арабатский залив у с. Каменское	47,5	1,0	0,0047	0,15
б. Кой-Асан	теряется в степи, в 0,6 км с-в с. Львово	67,4	1,0	0,0047	0,15
руч. Сухой	залив Сиваш	34,3	3,8	0,0500	1,58
без названия	теряется в степи, в 0,7 км в. с. Токарево	30,8	1,0	0,0047	0,15
Карасу	Залив Сиваш	-	1,0	0,0047	0,15
Гвардейская	Залив Сиваш у с. Славянское	122	2,6	0,0179	0,56
Зеленая	Залив Сиваш, 1 км с. с. Нижние Острожки	169	1,0	0,0047	0,15
Стальная	залив Сиваш	134	1,0	0,0047	0,15
Победная	То же	366	1,0	0,0047	0,15
Мирновка	То же	270	1,0	0,0047	0,15
без названия	залив Сиваш у с. Завет-Ленинский	166	1,0	0,0047	0,15

### Выводы

Суммарная площадь водосборов рек степной части Крыма составляет менее половины общей площади степной части, равной примерно 20 тыс. км<sup>2</sup>. Это означает, что на большей части степной территории водотоки или вовсе отсутствуют, либо имеют незначительные размеры, вследствие чего информация о них не содержится в справочнике «Гидрологическая изученность». Учитывая, что средний многолетний модуль (или слой) стока обычно испытывает плавные пространственные изменения, поэтому полученное значение модуля стока можно считать осредненным для всей степной части Крымского полуострова, а не только водосборов рассматриваемых рек. Его умножение на общую площадь степной части Полуострова дает суммарный расход воды, равный 8 м<sup>3</sup>/с, что соответствует примерно 250 млн м<sup>3</sup> объема годового стока. Именно такое количество водных ресурсов, скорее всего, и формируется в пределах степной части Крымского полуострова.

### Список литературы

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 6. Вып. 3. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 126 с.
2. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения: 20.02.2024).
3. Алексеевский Н.И., Айбулатов Д.Н., Косицкий А.Г. Масштабные эффекты изменения стока в русловой сети территории // География, общество, окружающая среда. Т. VI. Динамика и взаимодействие атмосферы и гидросферы / Под ред. С.А. Добролюбова, Н.С. Касимова, С.М. Малхазовой. Т. 6. Городец. М., 2004. С. 443-459.
4. Косицкий А.Г., Богуцкая Е.М., Гречушникова М.Г., Григорьев В.Ю., Сазонов А.А., Харламов М.А., Фролова Н.Л. Оценка собственных возобновляемых водных ресурсов Крымского полуострова // Водные ресурсы. 2022. № 4. С. 423-436.
5. Атлас: Автономная Республика Крым / Под ред. Н.В. Багрова, Л.Г. Руденко; Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Институт географии НАН Украины, ЗАО «Институт передовых технологий». Киев – Симферополь, 2003. 80 с.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 03.04.2024

Принята к публикации 19.09.2024

## AN ASSESSMENT OF RENEWABLE WATER RESOURCES OF THE STEPPE PART OF THE CRIMEAN PENINSULA

**A. Kositskiy, E. Bogutskaya, E. Pyashenko**

Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow

e-mail: alexhydro@mail.ru

Assessing the own renewable water resources of the steppe part of the Crimean Peninsula is not an easy task due to the lack of hydrological observations in this part of the Crimea. Therefore, an indirect method was used to estimate them, based on the dependence of the average long-term water consumption on the river orders. In accordance to it, the average long-term water consumption of the Crimea's steppe rivers was estimated, the division of which into the catchment areas of these rivers gave runoff modules. The average value of the flow modulus for the steppe rivers of the Crimea turned out to be 0.4 l/(s·km<sup>2</sup>), which is close to earlier estimates. Multiplying it by the total area of the steppe part of Crimea gave a total water consumption and annual flow volume of approximately

250 million m<sup>3</sup>, it should be considered its own renewable water resources of the steppe part of the Crimean Peninsula.

*Key words:* the Crimean peninsula, steppe, water resources, order of the river.

### References

1. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. *Gidrologicheskaya izuchennost'*. T. 6. Vyp. 3. L.: Gidrometeoizdat, 1964. 126 s.
2. Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnykh ob"ektov (AIS GMVO). URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (data obrashcheniya: 20.02.2024).
3. Alekseevskii N.I., Aibulatov D.N., Kositskii A.G. Masshtabnye efekty izmeneniya stoka v ruslovoi seti territorii. *Geografiya, obshchestvo, okruzhayushchaya sreda*. T. VI. Dinamika i vzaimodeistvie atmosfery i gidrosfery. Pod red. S.A. Dobrolyubova, N.S. Kasimova, S.M. Malkhazovoi. T. 6. Gorodets. M., 2004. S. 443-459.
4. Kositskii A.G., Bogutskaya E.M., Grechushnikova M.G., Grigor'ev V.Yu., Sazonov A.A., Kharlamov M.A., Frolova N.L. Otsenka sobstvennykh vozobnovlyaemykh vodnykh resursov Krymskogo poluostrova. *Vodnye resursy*. 2022. N 4. S. 423-436.
5. Atlas: Avtonomnaya Respublika Krym. Pod red. N.V. Bagrova, L.G. Rudenko; Tavricheskii natsional'nyi universitet im. V.I. Vernadskogo, Institut geografii NAN Ukrainy, ZAO "Institut peredovykh tekhnologii". Kiev – Simferopol', 2003. 80 s.

### Сведения об авторах:

Косицкий Алексей Григорьевич

К.г.н., доцент кафедры гидрологии суши географического факультета, МГУ имени М.В. Ломоносова

ORCID 0000-0002-3376-1020

Kositskiy Alexey

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Land Hydrology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University

Богущая Екатерина Михайловна

Аспирант кафедры гидрологии суши географического факультета, МГУ имени М.В. Ломоносова

ORCID 0009-0000-7243-2249

Bogutskaya Ekaterina

Postgraduate student, Department of Land Hydrology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University

Ильяшенко Евгения Филипповна

Магистрант 2 курса кафедры гидрологии суши географического факультета, МГУ имени М.В. Ломоносова

Ilyashenko Evgeniya

2nd year Master's student, Department of Land Hydrology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University

**Для цитирования:** Косицкий А.Г., Богущая Е.М., Ильяшенко Е.Ф. Оценка возобновляемых водных ресурсов степной части Крымского полуострова // Вопросы степеведения. 2024. № 3. С. 24-32. DOI: 10.24412/2712-8628-2024-3-24-32